

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-305204

(43)Date of publication of application : 18.10.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/331

H01L 29/205

H01L 29/207

H01L 29/737

(21)Application number : 2001-107079

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 05.04.2001

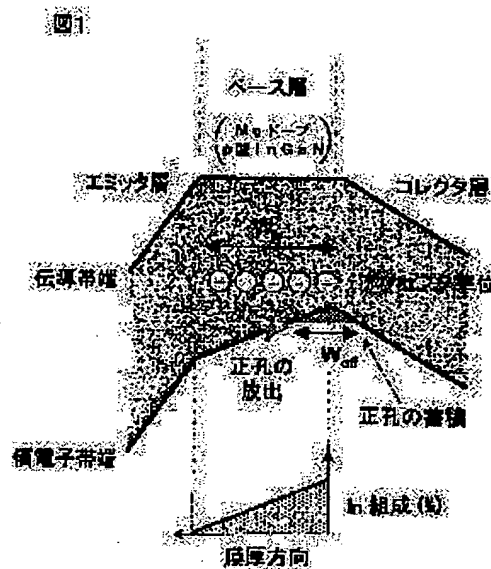
(72)Inventor : MAKIMOTO TOSHIKI  
KUMAKURA KAZUHIDE  
KOBAYASHI NAOKI

## (54) SEMICONDUCTOR STRUCTURE, AND HETEROJUNCTION BIPOLAR TRANSISTOR

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a low-resistance nitride semiconductor structure, and to constitute a heterojunction bipolar transistor high in current gain, using the nitride semiconductor structure as a base layer.

**SOLUTION:** In this heterojunction bipolar transistor, where a base layer constituted of an Mg-doped p-type  $\text{InGaN}$  is made between an emitter layer and a collector layer, in composition of that base layer is changed, according to the distance from that emitter layer to that base layer, and the depth of the acceptor level within that base layer is changed together with a band gap. Since holes are discharged at a high rate from the acceptor level, the resistance of that base layer drops, and a region where the positive poles are accumulated becomes an effective base layer; and since the width  $W_{\text{eff}}$  is smaller than the width  $W_b$  of the structural base layer, the current gain rises  $(W_b/W_{\text{eff}})^2$  times (this magnification is larger than 1).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 30.09.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-305204  
(P2002-305204A)

(43) 公開日 平成14年10月18日 (2002. 10. 18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/331		H 0 1 L 29/205	5 F 0 0 3
29/205		29/207	
29/207		29/72	H
29/737			

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2001-107079(P2001-107079)	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22) 出願日	平成13年4月5日 (2001. 4. 5)	(72) 発明者	牧本 俊樹 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	熊倉 一英 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	100075753 弁理士 和泉 良彦 (外1名)

最終頁に続く

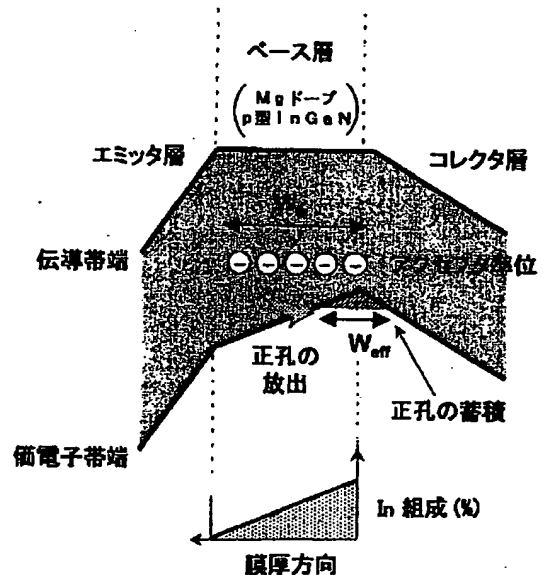
(54) 【発明の名称】 半導体構造及びヘテロ接合バイポーラトランジスタ

(57) 【要約】

【課題】低抵抗の窒化物半導体構造を実現させること、及び、その窒化物半導体構造をベース層として用いて、電流利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成すること。

【解決手段】Mgドープp型InGaNで構成されるベース層をエミッタ層とコレクタ層とで挟んで形成したヘテロ接合バイポーラトランジスタであって、該ベース層のIn組成を該エミッタ層から該ベース層に至る間の距離に応じて変化させて、該ベース層中のアクセプタ準位の深さをバンドギャップと共に変化させたことを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成する。アクセプタ準位から高い割合で正孔が放出されるので、該ベース層の抵抗が低下し、正孔が蓄積された領域が実効的ベース層となり、その幅 $W_{eff}$ が構造上のベース層幅 $W_b$ よりも小であるので、電流利得が $(W_b/W_{eff})^2$ 倍(この倍率は1よりも大)に向上する。

図1



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】2種以上のIII族元素と窒素とで構成される窒化物半導体による半導体構造であって、前記III族元素のうち、バンドギャップを小さくするIII族元素の組成比が前記半導体構造中の位置に応じて変化し、前記組成比が大きくなるのに伴って、アクセプタ又はドナーとしてドーピングされた不純物の準位が浅くなることを特徴とする半導体構造。

【請求項2】前記窒化物半導体はInGa<sub>N</sub>であり、前記バンドギャップを小さくするIII族元素はインジウムであり、前記不純物はマグネシウムであることを特徴とする請求項1に記載の半導体構造。

【請求項3】前記窒化物半導体はAlGa<sub>N</sub>であり、前記バンドギャップを小さくするIII族元素はガリウムであり、前記不純物はマグネシウムであることを特徴とする請求項1に記載の半導体構造。

【請求項4】請求項1、2又は3に記載の半導体構造をベース層とし、前記ベース層の内部においてエミッタ側からコレクタ側に向かって前記組成比を変化させることを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体構造及びヘテロ接合バイポーラトランジスタに関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在用いられている半導体デバイスの多くは、不純物をドーピングして抵抗を低くした半導体層を用いて構成されている。この不純物をドーピングした半導体層の抵抗が高いと半導体デバイスの特徴を十分に発揮できない場合がある。現在、このような問題点を持つ半導体系として、窒化物半導体のp型層が代表例として挙げられる。そこで、p型の窒化物半導体を半導体系の例とし、npn型のヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)をデバイスの例として、従来技術の説明を行う。

【0003】図8は、半導体中のアクセプタ準位の深さと正孔の放出の関係を示す。アクセプタ準位が浅い場合(図中、左側)には、正孔はアクセプタから価電子帯へ容易に放出されるために、半導体層の抵抗が低くなる。この抵抗の低い不純物層をnpn型HBTのベース層に適用した場合には、ベース電流が流れやすいので、HBTの持つ本来の特性を発揮しやすい。これに対して、アクセプタ準位が深い場合(図中、右側)には、正孔はアクセプタに捕われているので、価電子帯へ放出されにくい。このため、半導体層の抵抗が高くなる。この半導体層をHBTのベース層に適用した場合には、ベース電流が流れにくいので、正常なトランジスタ動作ができなかったり、高周波特性に悪影響が出る。従って、アクセプタ準位が深い場合には、何らかの方法によって、正孔濃度あるいは正孔の移動度を増加させることによって、半

導体層の抵抗を低くすることが必要となる。

【0004】抵抗の低いp型窒化物半導体を作製するために、超格子中のピエゾ効果を利用して正孔濃度を増加させる方法が発表されている(K. Kumakura, T. Makimoto and N. Kobayashi, "Enhanced Hole Generation in Mg-Doped AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> Superlattices due to Piezoelectric Field", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 39, pp. 2428-2430 (2000) など)。ピエゾ効果の存在しない超格子

(通常の超格子)に対するバンド図を図9に、そして、ピエゾ効果の存在する超格子(窒化物半導体に特有な超格子)に対するバンド図を図10に示す。ピエゾ効果の存在しない場合(図9の場合)は、図8の場合と同様に、熱エネルギーによってアクセプタから正孔が放出される。ピエゾ効果が存在する場合には、図10で示したように、ピエゾ効果によってバンドが変調される。このピエゾ電界によってアクセプタからの正孔の放出が促進されるために、正孔濃度を高くすることができる。しかしながら、図10からわかるように、超格子の膜厚方向にはポテンシャルの起伏がある。従って、正孔が膜厚方向へ走行する際には、そのポテンシャルの起伏が正孔の走行の妨げとなる可能性がある。さらに、この構造をHBTのベース層に用いた場合には、膜厚方向に走行する少数キャリアである電子はポテンシャルのくぼみに落ちて、多数キャリアである正孔と再結合しやすくなる。このため、電流利得が減少するという問題が起こる。

【0005】また、これらのアクセプタをドーピングした超格子では、ピエゾ電界を発生させる必要がある。このピエゾ電界を発生させるためには、結晶に歪が生じている必要がある。しかしながら、超格子を構成する2つの層の厚さが厚くなると結晶が歪を緩和する(結晶にヒビが入る)ので、歪がかからなくなる。従って、超格子を構成する2つの層の厚さには制限がある。この厚さの制限は、超格子を構成する2つの層の格子定数差に依存しており、臨界膜厚と呼ばれている。効果的に正孔を放出するためには、超格子を構成する各層の厚さは、通常は10nm程度以下である必要がある。

【0006】現在、HBTを作製する際に用いられている半導体材料系は、主として、AlGaAs/GaAs系、InP/InGaAs系、Si/SiGe系である。これらのHBTの多数が、ベース層にアクセプタをドーピングしたp型層を用いている。このようなnpn型HBTでは、エミッタ層にはn型でバンドギャップの大きな半導体材料を用い、ベース層にはp型でエミッタ層より小さなバンドギャップを持つ半導体材料が用いられる。現在のHBTに利用されている半導体材料系におけるエミッタ層とベース層に用いられる材料を表1に示した。

## 【0007】

## 【表1】

3  
表1

材料系	AlGaAs/GaAs系	InP/InGaAs系	Si/SiGe系
エミッタ層	AlGaAs	InP	Si
ベース層	GaAs	InGaAs	SiGe

ベース層に用いられているこれらの材料では、ほとんどすべてのアクセプタから正孔が放出されているので、アクセプタ準位の深さは非常に浅い。従って、現在使用されている材料系では、アクセプタ準位が深いことによって高い正孔濃度が得られないという問題は起きていなかった。

【0008】アクセプタ準位が浅いp型半導体をベース層とした従来のHBTにおいて、ベース層での元素の組成比を変化させて電流利得を高くする構造がある。この構造は傾斜ベース構造と呼ばれており、そのバンド図を図11に示す。傾斜ベース構造では、エミッタ側からコレクタ側にかけてバンドギャップが小さくなるように元素の組成比を変化させるため、ベース層での伝導帯端には電界がかかる。この電界によって電子が加速されるために、ベース層中での電子の寿命が長くなり、高い電流利得が得られる。比較のためにベース層での元素の組成が一定である、均一ベース構造のバンド図を図12に示す。この場合に、ベース層における伝導帯端には図12に示したような傾斜がなく、一定であり、伝導帯端における電子の加速は起こらない。図11に示したような従来の傾斜ベース構造では、均一ベース構造に比べて、伝導帯端でのバンドの傾斜によって電子を加速させる点が新しい。しかしながら、従来の半導体におけるアクセプタ準位が浅いために、ベース層での元素の組成を変化させても価電子帯端を傾斜させることはできなかった。また、価電子帯端を傾斜させる必要も無かった。

【0009】以上説明したように、従来のHBTにおいては、ベース層中に浅いアクセプタ準位を形成することができ、そのアクセプタ準位が放出する正孔によってベース層の比抵抗が低下するので、ベース層を厚くすることなく、ベース層のシート抵抗（層に沿った方向の抵抗）を小さくすることが可能である。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】これに対して、窒化物半導体では、アクセプタ準位が深いために、室温（20℃付近）ではアクセプタから正孔が放出されない、という問題がある。例えば、MgアクセプタをドーピングしたGaNでは、アクセプタ濃度が $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ に対して、室温における正孔濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。つまり、アクセプタ準位が深いために、室温では、全体の約1/100のアクセプタしか正孔を放

出していない。このため、窒化物半導体のHBTにおいて、ベース抵抗を低くするためには、ベース層を厚くする必要がある。この場合の「ベース抵抗」とは、ベース層のシート抵抗のことであり、この抵抗値が高いと、ベース電極からベース層への信号伝達が遅くなり、HBTの高周波特性が劣化するので、この抵抗値は低いことが好ましい。しかしながら、この抵抗値を下げるためにベース層を厚くすると、電流利得がベース層の厚さ（ベース層幅）の自乗に反比例して減少するので、トランジスタ特性が劣化する。そこで、窒化物半導体構造の抵抗を低下させることが重要な課題となる。

【0011】さらに、現在使用されている半導体材料に比べて、窒化物半導体では、ベース層を走行する少数キャリアである電子の寿命が短い。従って、高い電流利得を得るためには、ベース層を薄くする必要がある。このように、窒化物半導体で作製したHBTでは、高い電流利得を保つと同時にベース抵抗を減少させなければならない、という問題がある。

【0012】本発明の目的は、上記の課題、すなわち、窒化物半導体構造の抵抗を低下させるという課題と、窒化物半導体で作製したHBTにおいて、高い電流利得を保つという課題とを解決し、低抵抗の窒化物半導体構造を実現させること、及び、その窒化物半導体構造をベース層として用いて、電流利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成することである。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明は、請求項1に記載のように、2種以上のII族元素と窒素とで構成される窒化物半導体による半導体構造であって、前記III族元素のうち、バンドギャップを小さくするIII族元素の組成比が前記半導体構造中の位置に応じて変化し、前記組成比が大きくなるのに伴って、アクセプタ又はドナーとしてドーピングされた不純物の準位が浅くなることを特徴とする半導体構造を構成する。

【0014】また、本発明は、請求項2に記載のように、前記窒化物半導体はInGaNであり、前記バンドギャップを小さくするIII族元素はインジウムであり、前記不純物はマグネシウムであることを特徴とする請求項1に記載の半導体構造を構成する。

【0015】また、本発明は、請求項3に記載のよう

に、前記窒化物半導体はAlGaInであり、前記バンドギャップを小さくするIII族元素はガリウムであり、前記不純物はマグネシウムであることを特徴とする請求項1に記載の半導体構造を構成する。

【0016】また、本発明は、請求項4に記載のように、請求項1、2又は3に記載の半導体構造をベース層とし、前記ベース層の内部においてエミッタ側からコレクタ側に向かって前記組成比を変化させることを特徴とするヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成する。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明は、半導体層あるいはHBTでのベース層にドーピングしたアクセプタ（あるいはドナー）単位の深さを制御することによって、抵抗が低く、キャリアに対するポテンシャル障壁の少ない構造を提供することを主要な特徴とする。

【0018】本発明は、従来の技術と比較して、半導体層あるいはHBTでのベース層を構成する元素の組成を変化させることにより、アクセプタ（あるいはドナー）単位を制御し、しかも、価電子帯（あるいは伝導帯）に電界を印加する点が異なる。

【0019】本発明においては、半導体層を構成する元素の組成を変化させることにより、ドーピングしたアクセプタ（あるいはドナー）単位を制御する。この際、表面から基板側にかけて不純物単位の深さが変化するようになれば、正孔（あるいは電子）は半導体内に均一に存在するのではなく、表面側あるいは基板側に偏って蓄積される。その結果、膜厚方向に走行するキャリアに対するポテンシャル障壁が存在することなく、深い不純物単位からも効果的に正孔（あるいは電子）が放出される。さらに、マイナスにイオン化したアクセプタをプラスの正孔が遮蔽する効果（スクリーニング効果）によって移動度が上昇する。従って、半導体層の抵抗を低くすることができるとともに、キャリアが膜厚方向に円滑に走行する。

【0020】HBTでのベース層に本発明を適用する場合には、ベース層を構成する元素の組成を変化させることにより、ドーピングしたアクセプタ（あるいはドナー）単位を制御する。この際、エミッタ層からコレクタ層にかけて不純物単位の深さが変化するようになれば、正孔（あるいは電子）はベース層内に均一に存在するのではなく、ベース層内のコレクタ層側あるいはエミッタ層側に偏って蓄積される。その結果、膜厚方向に走行するキャリアに対するポテンシャル障壁が存在することなく、深い不純物単位からも効果的に正孔（あるいは電子）が放出されるとともに、実効的なベース層幅が小さくなる。従って、ベース層の抵抗を低くすることができると同時に、電流利得を高くすることができる。

【0021】以下に、本発明を実施の形態例によって説明する。

【0022】〔実施の形態例1〕p型窒化物半導体であ

るp型InGaInに本発明を適用した。

【0023】p型InGaInは有機金属気相成長法（MOVPE法）を用いてサファイア基板上に作製した。作製したp型InGaInの構造及びバンド図を、それぞれ、図2及び図3に示す。この場合に、図2中のMgドーピングp型InGaInが請求項1に記載の窒化物半導体に該当する。なお、前記のMgドーピングp型InGaInは、図2に示したように、2層のバッファ層の上に形成されている。

10 【0024】この場合のアクセプタはマグネシウム（Mg）原子であり、原子濃度は約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。この場合に、マグネシウムが請求項1に記載のアクセプタ又はドナーとしてドーピングされた不純物に該当する。

【0025】p型InGaInは、In組成の違いによって、バンドギャップや、Mgアクセプタ単位の深さが異なってくることが報告されている。窒化物半導体におけるバンドギャップとMgアクセプタ単位の深さの関係を図4に示す（K. Kumakura, T. Makimoto and N. Kobayashi, "Activation Energy and Electrical Activity of Mg in Mg-Doped In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (x<0.2)", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 39, pp. L337-L339 (2000)). 図の縦軸がアクセプタ単位の深さを表している。

20 【0026】図2で示したように、表面側からサファイア基板側に向かって、p型InGaIn層中のインジウム（In）組成を0%から6%まで厚さに比例して増加させた。このため、図3で示したように、表面側からサファイア基板側に向かって、正孔に対するポテンシャルが低くなるように価電子帯が傾くことになる。従って、表面側に存在するアクセプタの不純物単位が深くても効果的に正孔が放出され、p型InGaInの構造の抵抗が低下する。この場合に、インジウムが請求項1に記載のバンドギャップを小さくするIII族元素に該当する。

【0027】また、本発明に係る半導体構造では、In組成を徐々に変化させているが、InGaIn層全体の膜厚が厚いので、InGaIn層は緩和している（層中の歪が緩和している）と考えられる。従って、Mgドーピングp型InGaInとGaInバッファ層との間にはピエゾ電荷は存在しない。

40 【0028】図2の構造に対するホール測定を23℃において行ない、膜厚と垂直な方向（膜面に平行な方向）の電気伝導特性を調べた。電子ビーム蒸着によって真空蒸着したPd/Auをオーミック電極として用いた。この結果、シート正孔濃度、移動度及びシート抵抗は、それぞれ、 $5.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 、 $2.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 及び $4.3 \times 10^4 \Omega$ であった。ここで、p型GaIn、In濃度が3%のp型InGaIn及び6%のp型InGaInに対するシート正孔濃度、移動度及びシート抵抗を、本発明の構造に対する値と比較して表2に示す。

【0029】

【表2】

表2

	シート正孔濃度	移動度	シート抵抗
本発明	$5.8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$2.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$4.3 \times 10^4 \Omega$
6% InGaIn	$7.9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$1.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$4.7 \times 10^4 \Omega$
3% InGaIn	$5.3 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$1.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$8.2 \times 10^4 \Omega$
GaN	$2.6 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$	$1.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$14.4 \times 10^4 \Omega$
			平均の シート抵抗 $9.1 \times 10^4 \Omega$

これら3つの層内のIn組成は均一であり、膜厚は図2の構造と同じ130nmである。また、Mg原子のドーピング濃度は、図2の構造で用いたドーピング濃度と同じにしている(約 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )。この場合の本発明の構造では、In原子の平均組成は3%である。In濃度が3%均一のp型InGaInに対するシート抵抗は、本発明の構造に対する値よりも約2倍も高い。表2には、p型GaN、In濃度が3%均一のp型InGaIn及び6%均一のp型InGaInに対するシート抵抗の平均値も示している。この平均値は本発明の構造に対する値よりも2倍以上もあり、本発明によって抵抗が減少していることを示している。

【0030】本発明の構造では、p型InGaIn層のIn組成を変化させることによって価電子帯のポテンシャルが傾斜した結果、アクセプタから効率的に正孔が放出されている。そして、正孔が基板側に偏って蓄積した結果、スクリーニング効果によって、移動度が上昇したものと考えられる。これらの2つの効果によって、本発明の構造に対する抵抗が減少した。そして、抵抗が減少する効果は、膜厚が130nmでも現れる。

【0031】【実施の形態例2】本発明に係るnpn型HBTのバンド図の一例を図1に示す。注目すべき点は、ベース層内の伝導帯端ではなく、ベース層内の価電子帯端がエミッタ層からコレクタ層にかけて傾斜している点である。この傾斜のためにエミッタ層側に存在する深いアクセプタ準位からも正孔が効果的に放出され、コレクタ層側に蓄積される。従って、実施の形態例1で述べたように、スクリーニング効果による移動度の上昇の効果も出るために、ベース抵抗が低くなる。さらに、この場合には実効的なベース層の幅は図1中の $W_{eff}$ となるので、電流利得は均一ベース構造の場合(この場合には、実効的なベース層の幅は構造上のベース層の幅 $W_b$ に等しい)に比べて、 $(W_b/W_{eff})^2$ 倍になる。この倍率は、 $W_b > W_{eff}$ であるので、1よりも大きい。

【0032】このように、本発明によってベース抵抗を低くすることができ、それと同時に、電流利得を高くすることができる。

【0033】図5は、MOVPE法でサファイア基板上に作製した本発明に係るHBTの構造を示す。図において、ベース層(図中、Graded-InGaInベースと表示)に本発明で実施の形態例1の図2に示した構造を適用した。つまり、ベース層の厚さを130nmとして、コレクタ側からエミッタ側にかけてベース層内でのIn組成を6%から0%まで減少させた。この構造での電流利得は23℃において約5であった。これに対して、In組成が3%均一のInGaInをベース層とした均一ベースHBTでは、電流利得が約1であった。このように、本発明のp型窒化物半導体をベース層に用いた場合には、HBTの特性が改善された。

【0034】なお、図5に示したHBTの構成において、エミッタ及びコレクタはSiドーブのn-GaNであり、エミッタとベースとの間にはGaNのスペーサ層があり、ベースとコレクタとの間には、In組成が位置によって変化するSiドーブのGaNがあり、エミッタ上にはエミッタ電極としてAl/Au電極が形成され、ベース表面の一部にはベース電極としてPd/Au電極が形成され、コレクタの下層としてSiドーブのn-GaNサブコレクタがあり、このサブコレクタの表面の一部にはコレクタ電極としてAl/Au電極が形成され、HBT全体は、図5に示したように、2層のバッファ層の上に形成されている。

【0035】図1では、コレクタ側に正孔が蓄積したが、図6に示したようにエミッタ側に正孔が蓄積していても良い。また、図1や図6では、ベース層での伝導帯には電界がかかっていなかったが、電界がかかっていても良い。ただし、この電界の方向は電子がエミッタからコレクタに向かって加速される方向が望ましい。

【0036】また、図1では、ベース層のエミッタ端でのIn組成がエミッタのベース端でのIn組成と等しく

なっている。しかしながら、ベース層のエミッタ端では金属との間にオーミック接合を形成しなければならない。図4で示したように、In組成が高くなるのに伴ってアクセプタ準位が浅くなるので、In組成が高いほうが良好なオーミック接合を形成しやすい。従って、ベース層のエミッタ端でのIn濃度がエミッタ層のベース端でのIn組成よりも高くなっても良い。この様子を図7に示す。エミッタはGa<sub>0.97</sub>Nとし、ベース層のエミッタ端でのIn組成は3%であり、コレクタ端に向かってIn組成を6%まで増加させている。

【0037】以上はnpn型HBTに関して実施の形態例を示したが、pnp型HBTにも本発明を適用できるのは明らかである。

【0038】さらに、窒化物半導体であるInGa<sub>0.97</sub>Nにおいて、組成を変化させる元素としてInを用いて説明を行ったが、窒化物半導体であるAlGa<sub>0.97</sub>Nにおいて、組成を変化させる元素としてのGaの組成を変化させても、上記と同様の本発明の効果が現れる。また、InAlGa<sub>0.97</sub>Nなどの4つの元素から構成される4元素の半導体では、(InAl)Ga<sub>0.97</sub>Nと考えて、2つの元素からなる(InAl)の組成をGaに対して変化させても良い。5元素以上の半導体においても同様である。

【0039】以上の説明から明らかなように、2種以上のIII族元素と窒素とで構成される窒化物半導体による半導体構造であって、前記III族元素のうち、バンドギャップを小さくするIII族元素の組成比が前記半導体構造中の位置に応じて変化し、前記組成比が大きくなるのに伴って、アクセプタ又はドナーとしてドーピングされた不純物の準位が浅くなることを特徴とする半導体構造を構成することによって、低抵抗の窒化物半導体構造を実現させ、その窒化物半導体構造をベース層として用いて、ベース抵抗が低く、しかも、電流利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成することができる。

【0040】また、本発明に係る半導体構造又はヘテロ接合バイポーラトランジスタにおいては、ピエゾ電界を利用せず、発生もさせていないので、膜厚方向に走行す

るキャリアに対するポテンシャル障壁が無く、キャリアの走行が円滑に行われる。従って、このようなポテンシャル障壁に起因する層抵抗の増大や電流利得の低下の問題が解消される。

【0041】

【発明の効果】本発明の実施によって、低抵抗の窒化物半導体構造を実現させること、及び、その窒化物半導体構造をベース層として用いて、電流利得が高いヘテロ接合バイポーラトランジスタを構成することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT)の一例のバンド図を示す図である。

【図2】p型窒化物半導体であるp型InGa<sub>0.97</sub>Nに本発明を適用した半導体構造の一例を示す図である。

【図3】図2の構造に対するバンド図を示す図である。

【図4】窒化物半導体におけるバンドギャップとMgアクセプタ準位の深さの関係を示す図である。

【図5】MOVPE法でサファイア基板上に作製した本発明に係るHBTの構造を示す図である。

【図6】本発明に係る、エミッタ側に正孔が蓄積したnpn型HBTのバンド図を示す図である。

【図7】本発明において、コレクタ端に向かってベース層のIn組成を3%から6%まで増加させた場合のバンド図を示す図である。

【図8】半導体中のアクセプタ準位の深さと正孔の放出の関係を示す図である。

【図9】ピエゾ効果のない超格子構造に対するバンド図を示す図である。

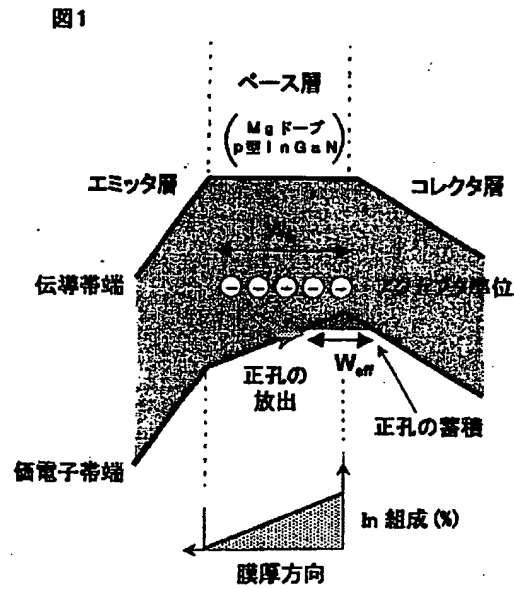
【図10】ピエゾ電界が存在する超格子構造に対するバンド図を示す図である。

【図11】npn型HBTにおける傾斜ベース構造のバンド図を示す図である。

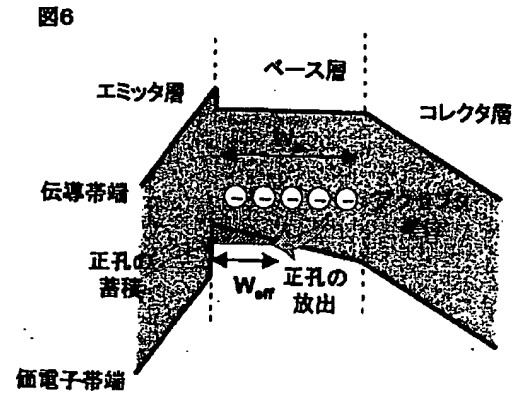
【図12】npn型HBTにおける均一ベース構造のバンド図を示す図である。



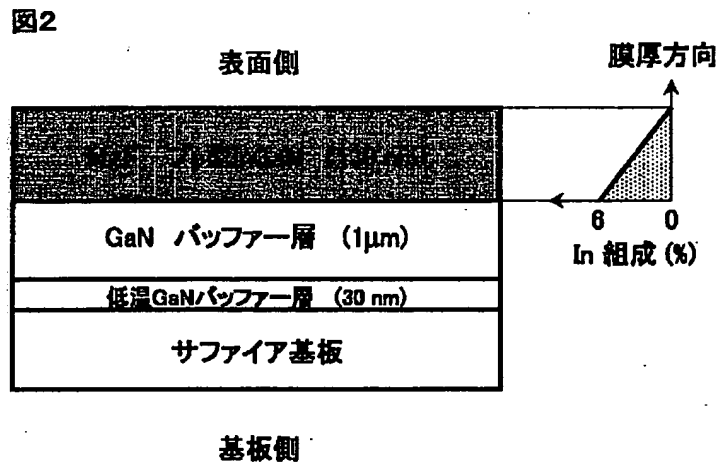
【図1】



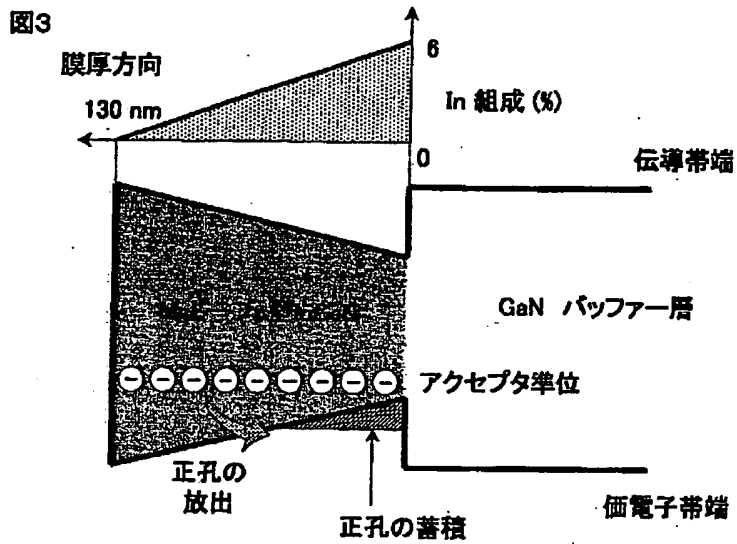
【図6】



【図2】

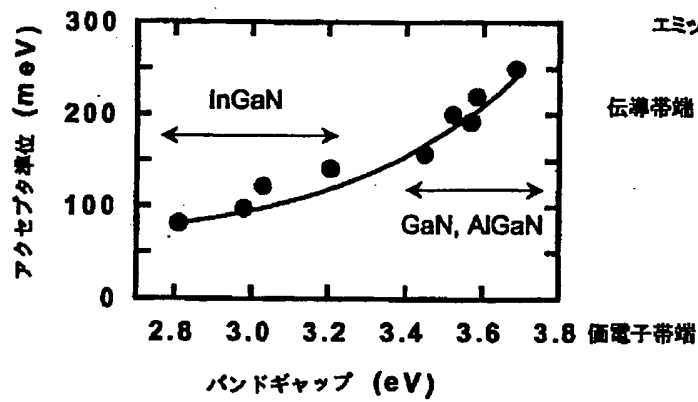


【図3】



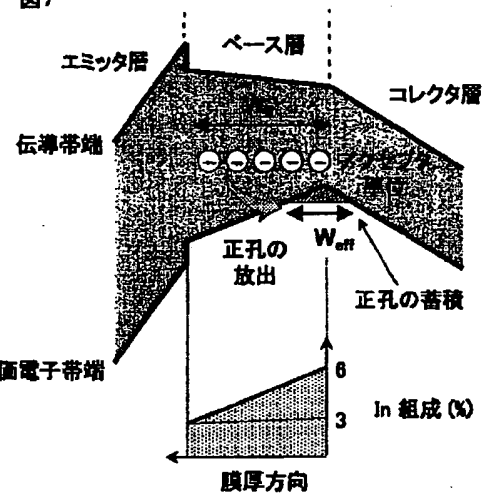
【図4】

図4

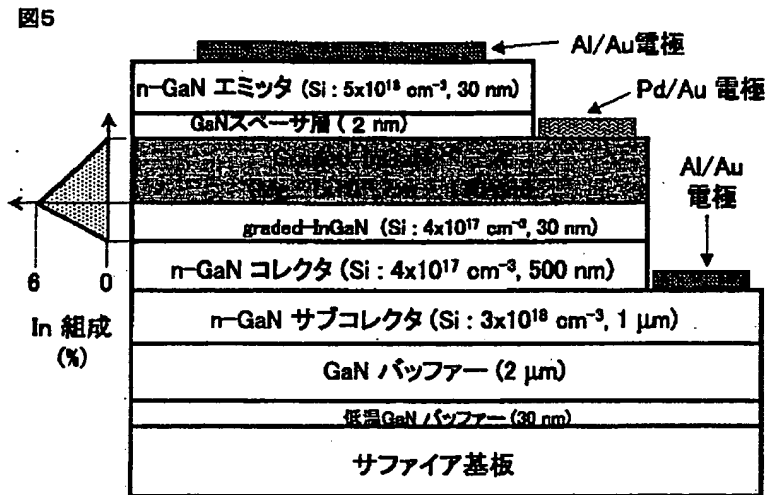


【図7】

図7

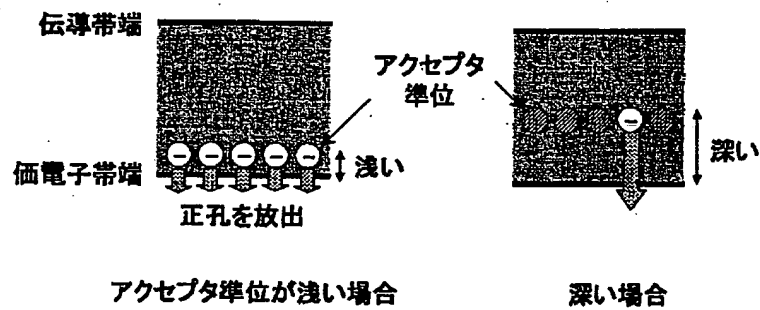


【図5】



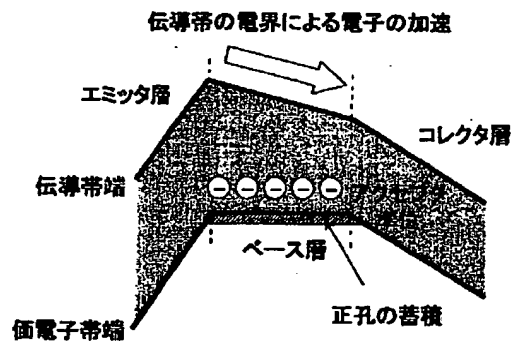
【図8】

図8



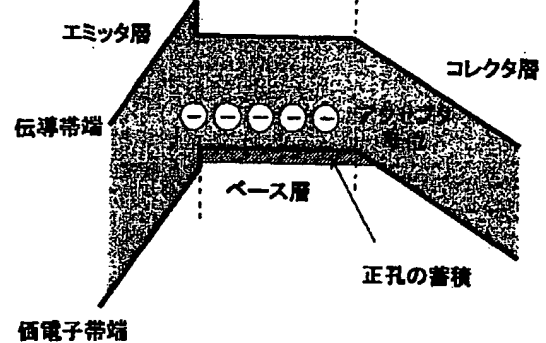
【図11】

図11



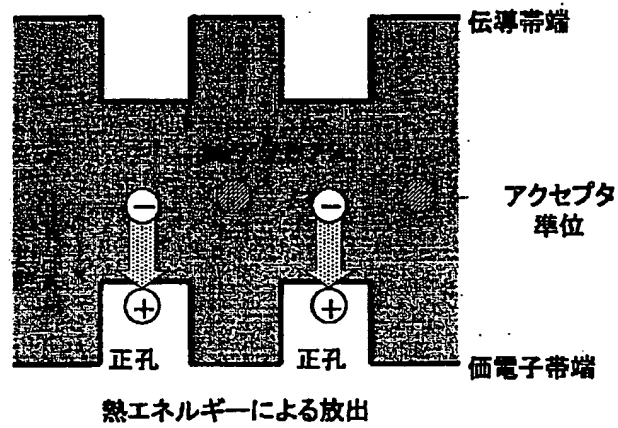
【図12】

図12



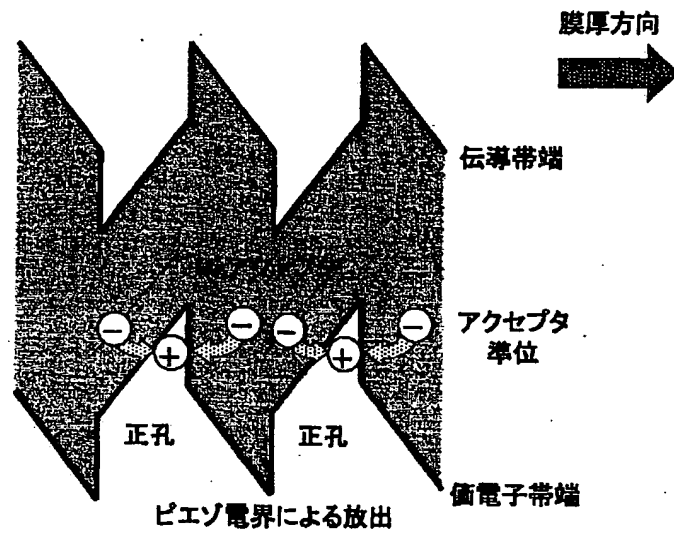
【図9】

図9



【図10】

図10



フロントページの続き

(72)発明者 小林 直樹  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 5F003 AZ03 BB00 BB01 BB04 BB05  
BE04 BF06 BM03 BP32

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**